

## Kelarutan Terpilih dan Sifat Jerapan Oksida Besi yang Dikandung Hapludults

RACHMAN SUTANTO

*Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada,  
Sekip Unit I, Yogyakarta 55281, Indonesia*

Diterima 30 November 1999/disetujui 20 Desember 1999

Oksida besi yang dijumpai di dalam tanah mempunyai bentuk kristal bervariasi, berukuran sangat kecil ( $<2\mu\text{m}$ ), tetapi memiliki luas permukaan spesifik dan reaktivitas kation dan anion yang tinggi. Reaktivitas oksida yang tinggi berasosiasi dengan koordinat tunggal kelompok hidroksil (OH) yang besarnya dapat diukur dengan teknik pelarutan (dissolution) dan penyerapan (adsorption).

Dalam penelitian ini digunakan oksida besi murni (gutit, hematit dan ferihidrit) dan 8 cuplikan tanah Tipik Hapludults Kentrong (Jabar) dan Plintik Hapludults Pelaihari (Kalsel). Penelitian laboratorium yang dilaksanakan, terdiri atas: analisis rutin, pelarutan terpilih oksida besi dan pengukuran jerapan. Hasil pelarutan menunjukkan bahwa EDTA mampu melarutkan secara selektif oksida besi amorf terutama ferihidrit, hasil yang sama ditunjukkan melalui pelarutan oksalat pH3,0, sedang pelarutan ditionit pH7,0 melarutkan semua bentuk oksida, baik amorf maupun kristalin. Pengukuran retensi fosfat dan reaktivitas fluorida sangat dipengaruhi oleh luas permukaan spesifik oksida besi. Oksida amorf (ferihidrit) mempunyai kemampuan menyerap fosfat dan fluorida 2-3x lebih besar daripada oksida kristalin (gutit dan hematit)

The iron oxides mineral may present in soil are vary in crystal size, very small particle ( $<2\mu\text{m}$ ), but they have a high specific surface area and high reactivity to the cations and anions through association of single coordinated of hydroxyl groups at the iron oxide surface and may be determinated by the dissolution and adsorption techniques.

The pure iron oxides namely goethite, hematite and ferrihydrite, and 8 pedogenetic soil samples of Tipik Hapludults from Kentrong (West Java) and Plintik Hapludults from Pelaihari (South Kalimantan) were used in this experiment. The laboratory analyses were conducted including: routine analyses, selective dissolution iron oxides, and the adsorption characteristics.

The dissolution measured were indicated that EDTA and oxalate acid able to dissolve selectively similar fractions of the poorly crystalline iron oxide. While dithionite extraction may quantitatively dissolve poorly crystalline and well crystallized of soil iron oxides.

The phosphate retention (PR) and fluoride reactivity (FR) were influenced by specific surface area of soil iron oxides. Iron oxides amorf (ferryhidrite) have retain phosphate and fluoride 2-3 times higher than well crystallized iron oxides (goethite and hematite).

[Key words: iron oxides, active component, selective dissolution, adsorption]

Oksida besi atau lebih populer "besi bebas" merupakan istilah untuk semua bentuk senyawa besi dalam sistem  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$  yang dikandung hampir semua jenis tanah, baik yang baru terbentuk maupun yang sudah berkembang lanjut. Pada kebanyakan tanah, oksida besi dijumpai dalam konsentrasi yang rendah karena sebagian besar berbentuk mineral sekunder. Kemungkinan besar oksida besi terdistribusi secara tidak beraturan dalam profil tanah, tetapi seringkali terkonsentrasi pada horison tertentu seperti konkresi, nodul, cadas olah, horison plastik, horison spodik (Schwertmann and Taylor, 1977; Fitzpatrick, 1988). Permukaan oksida berbentuk hidroksil sehingga disebut sebagai hidroksida. Bentuk hidroksida dengan luas permukaan spesifik tinggi merupakan kompleks penjerap yang sangat reaktif terhadap bermacam-macam bentuk bahan kimia pertanian dan merupakan komponen yang sangat penting dalam lingkungan tanah.

Hasil penelitian Borggaard (1990) bahwa oksida besi terbentuk melalui proses pelapukan mineral primer atau hasil sintesis senyawa besi, sehingga bentuk-bentuk oksida besi seringkali hanya dapat diukur dengan menggunakan teknik pelarutan (*dissolution*).

Bentuk besi hidroksida mempunyai luas permukaan spesifik yang tinggi,

keberadaannya sebagai komponen tanah merupakan kompleks penjerap yang sangat reaktif terhadap bermacam-macam bahan, sehingga dikenal sebagai "bahan aktif" (Sposito, 1984). Reaktivitas permukaan koloid tanah berasal dari perilaku kimiawi gugus fungsi yang bermuatan permukaan (Cornell *et al.*, 1974). Sifat jerapan masing-masing individu komponen penyusun tanah perlu dipahami terlebih dahulu, meskipun sifat tersebut mengalami modifikasi karena terjadi interaksi yang bersifat mutualistik antar masing-masing komponen tersebut (Uehara and Gillman, 1981). Hasil identifikasi masing-masing bahan yang menimbulkan modifikasi sifat sistem tanah akan banyak memberikan informasi sifat komponen penyusun tanah yang selanjutnya asal usul sifat jerapan tanah dapat diidentifikasi.

Menurut Borggaard (1990) teknik pelarutan terpilih (*selective dissolution*) dapat digunakan secara tidak langsung sebagai sumber informasi luas permukaan spesifik dan kapasitas jerapan oksida. Selanjutnya pengukuran jerapan sebelum dan sesudah dilakukan pelarutan akan banyak membantu dalam menentukan bahan aktif yang dikandung tanah.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian laboratorium ini dilaksanakan dengan cara membandingkan

sifat kelarutan dan jerapan oksida dalam bentuk bahan murni dan oksida yang dikandung Ultisol yang banyak dijumpai di Indonesia. Oksida besi murni dipilih berdasarkan kemampuannya yang tinggi dalam menyerap klorida, fosfat dan fluorida, dan mempertimbangkan kemungkinan dijumpai pada Ultisols (ferihidrit, hematit dan gutit).

Cuplikan horison pedogenesis 4 profil Ultisol yang berasal dari Kentrong (Jawa Barat) dan Pelaihari (Kalimantan Selatan) dipilih untuk penelitian ini. Analisis laboratorium dilaksanakan di laboratorium kimia tanah, Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian UGM.

(1) *Analisis rutin.* pH ( $H_2O$ ) dan pH ( $CaCl_2$ ) metode potensiometrik, C-organik metode Walkley and Black (Allison, 1965), KPK dan kation tertukarkan (Ca, Mg, K, Na) dilakukan dengan ekstraksi  $NH_4OAc$  pH7, kemasaman tertukarkan ( $Al^{+3}$ ) ekstraksi 1N KCl (Yuan, 1959). Luas permukaan spesifik partikel tanah metode EGME (Heilman *et al.*, 1965).

(2) *Analisis pelarutan oksida besi.* Ada tiga metode ekstraksi yang dilaksanakan, ialah: (a) EDTA (Begheijn and van Schuylenborgh, 1971), (b) 0,2M amonium oksalat pH 3,0 (Blakemore *et al.*, 1987), (c) Na-ditionit sitrat pH 7,3 (Mehra

and Jackson, 1960). Khusus untuk pelarutan Na-dithionit dilakukan secara bertahap sebanyak 4 kali.

### (3) *Pengukuran Jerapan.*

Pengukuran jerapan dilakukan pada dua macam cuplikan: a) tanah yang mengandung oksida dan b) tanah yang bebas oksida. Pengukuran jerapan yang dilaksanakan adalah: luas permukaan spesifik (Heilman *et al.*, 1965), retensi fosfat (Blakemore *et al.*, 1987) dan reaktivitas fluorida (Bracewell *et al.*, 1970; Perrot *et al.*, 1976).

Karakteristik kimia cuplikan tanah (Tabel 1) menunjukkan bahwa kemasaman (pH) tanah dikategorikan sangat masam ( $pH < 5,0$ ), dan pH ( $CaCl_2$ ) lebih rendah daripada pH ( $H_2O$ ). Kandungan bahan organik tanah dikategorikan tinggi sampai sedang. Kation tertukarkan untuk semua cuplikan dikategorikan sedang sampai tinggi dengan kisaran 4,2-6,5  $cmol.kg^{-1}$  dan rerata 5,73  $cmol.kg^{-1}$ . KPK tanah dengan ekstraksi  $NH_4OAc$  pH7,0 dikategorikan sedang, dengan kisaran KPK 9 - 26,5  $cmol.kg^{-1}$ .

Tanah Kentrong berdasarkan analisis sinar X mengandung kaolinit, smektit-vermikulit, kuarsa dan gipsit, sedang tanah Pelaihari kaolinit, gipsit dan kuarsa.

Tabel 1. Karakteristik Kimia Terpilih, Tanah Kentrong (Jawa Barat) dan Pelaihari (Kalimantan Selatan)

Profil/ Lapisan	pH (H <sub>2</sub> O)	Gorg (%)	Total Kation cmol/kg	Al <sup>+++</sup> (KCl) cmol/kg	KPK NH <sub>4</sub> OAc cmol/kg	Fe <sub>d</sub> (%)	Fe <sub>o</sub> (%)
Tanah Kentrong, Tipik Haldudults (kaolinit, vermikulit, kuarsa, gipsit, bahan amorf)							
KT 1/I	4,8	2,15	6,47	13,12	23,22	1,95	0,28
II	4,7	1,14	7,12	15,62	26,14	3,37	0,19
KT 2/I	4,6	3,26	5,13	11,39	11,39	2,53	0,42
II	4,7	1,86	4,22	19,66	19,66	4,95	0,12
Tanah Pelaihari, Plintik Hapludults (kaolinit, kuarsa, bahan amorf)							
PI 2/I	4,6	3,24	4,29	0,98	9,43	2,70	0,32
II	4,2	2,12	4,88	1,32	13,49	4,37	0,14
PI 2/I	4,4	3,01	5,98	2,27	12,26	1,89	0,20
II	4,7	1,45	4,34	2,45	16,43	6,75	0,26

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Pelarutan oksida besi*

Ekstraksi EDTA, oksalat dan ditionit mampu melarutkan oksida bentuk kristalin sampai berkristal buruk, atau lebih populer disebut "amorf". Sedang variasi pengukuran yang terjadi pada cuplikan tanah kemungkinan besar disebabkan komposisi oksida besi, kemurnian dan kristalinitas. Korelasi positif antara Fe-EDTA dan Fe-oksalat memberikan gambaran bahwa kedua metode tersebut melarutkan bentuk oksida amorf dan oksida berkristal buruk, terutama bentuk ferihidrit.

Hasil pengukuran Fe-ditionit secara bertahap untuk bahan murni dan cuplikan tanah dapat dilihat dalam (Tabel 2). Ekstraksi ditionit ternyata tidak mampu sekaligus melarutkan seluruh oksida besi yang dikandung tanah. Sampai dengan pelarutan dan pengukuran sebanyak 4x untuk cuplikan yang sama, ternyata Fe-oksida terlarut masih terukur. Kemungkinan besar yang mempengaruhi kecepatan pelarutan adalah tingkat kristalinitas oksida. Seperti dikemukakan oleh McKeague & Day (1966), Borggaard (1982) dan Walker (1983), bahwa oksida besi yang berasal dari bahan induk (litogenik) relatif sukar terlarut daripada hasil proses pedogenesis (pedogenik).

**Tabel 2.** Kandungan besi oksida (%) ekstraksi sitrat-ditionit (Fed) yang dilaksanakan melalui empat tahapan ekstraksi

CUPLIKAN	TAHAP EKSTRAKSI				TOTAL
	I	II	III	IV	
KT1/I	1,36	0,80	0,32	0,06	2,54
II	3,13	0,31	0,18	0,02	3,64
KT2/I	2,39	0,14	0,03	0,01	2,57
II	4,51	0,16	0,18	0,07	4,92
PL1/I	2,05	0,46	0,26	0,00	2,77
II	4,21	0,27	0,04	0,03	4,55
PL2/I	1,49	0,43	0,06	0,01	1,99
II	5,31	1,24	0,05	0,00	6,60
Oksida Murni					
Gutit	16,02	3,16	1,23	1,09	21,50
Hematit	12,81	4,31	2,24	1,00	19,37
Ferihidrit	25,20	0,32	0,35	0,13	26,00

Tabel 3 menunjukkan bahwa tanah Kentrong mempunyai kandungan besi amorf berkisar 17,00-22,30  $\mu\text{mol.g}^{-1}$  dan rerata 19,16  $\mu\text{mol.g}^{-1}$ , sedang tanah Pelaihari berkisar 21,5-26,00  $\mu\text{mol.g}^{-1}$  dan rerata 23,86  $\mu\text{mol.g}^{-1}$ . Bahan asli gutit dan hematit relatif tidak terlarut dengan

jerapan tergantung pada banyaknya kelompok hidroksil di permukaan oksida. atau tergantung pada luas permukaan spesifik.

Tabel 4 dan Tabel 5 menunjukkan keragaman luas permukaan spesifik, baik untuk cuplikan murni maupun cuplikan

*Tabel 3. Kandungan besi cuplikan tanah ekstraksi EDTA, oksalat dan ditionit*

Cuplikan	Fe-EDTA ( $\mu\text{mol.g}^{-1}$ )	Fe-oksalat ( $\mu\text{mol.g}^{-1}$ )	Fe-ditionit (%)
KT1/I	20,0	22,2	2,54
KT1/II	15,5	18,03	3,64
KT2/I	14,5	19,30	2,57
KT2/II	16,7	17,13	4,92
PL1/I	21,3	24,00	2,77
PL1/II	21,6	25,70	4,55
PL1/I	20,6	21,63	1,99
PL1/II	24,1	24,13	6,60
Gutit	-	0,01	21,50
Hematit	-	0,01	19,37
Ferihidrit	18,5	33,27	26,00

Catatan : tt = tak terukur

ekstraksi oksalat, sedang ferihidrit terlarut dengan rerata kandungan besi amorf 33,27  $\mu\text{mol.g}^{-1}$ . Banyak peneliti berpendapat bahwa oksida besi kristalin tidak terlarut dengan menggunakan pelarut oksalat pH3.

#### *Sifat Jerapan*

Besarnya jerapan tergantung pada ketersediaan loka jerapan. Menurut Borggaard (1982), ketersediaan loka

tanah. Kisaran yang cukup besar kemungkinan karena luas permukaan bahan murni yang sangat bervariasi. Hasil yang kurang lebih sama dikemukakan oleh Borggaard (1990) dengan menggunakan bahan murni maupun bahan tanah. Permukaan spesifik oksida amorf (ferihidrit) berkisar antara 275 dan 380  $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ , sedang hasil pengukuran untuk gutit berkisar antara 15 dan 170  $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ , untuk hematit cenderung lebih rendah

berkisar antara 27 dan 115  $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ . Borggaard (1982) mengemukakan bahwa permukaan spesifik ferihidrit 400  $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ , sedang gutit 150  $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ .

Hasil pengukuran untuk 8 cuplikan tanah sangat bervariasi dan tidak menentu dengan kisaran pengukuran antara 24 dan 190  $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ . Untuk cuplikan lempung setelah terbebas dari oksida besi, baik yang diperlakukan dengan ditionit (menghilangkan semua bentuk oksida

kristalin) dan yang diperlakukan dengan oksalat (menghilangkan ferihidrit atau semua bentuk oksida amorf) nampak lebih bervariasi, dan tidak memberikan gambaran permukaan spesifik bahan yang tidak terlarut.

Pengukuran permukaan spesifik dalam penelitian ini dengan informasi literatur, menunjukkan hasil yang nisbi lebih rendah. Hasil pengukuran yang lebih rendah tidak dapat diketahui secara pasti.

**Tabel 4.** Pengukuran permukaan spesifik ( $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ ) cuplikan ferihidrit, gutit dan hematit dengan EGME (metode Heilman *et al.*, 1964)

Bahan	Permukaan spesifik			Permukaan spesifik ( $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ ) Tinjauan Literatur
	I	II	III	
Gutit	20	74	107	14 - 77 Taylor (1980) 50 - 200 Schwertmann (1988) 50 - 200
Hematit	36	51	60	
Ferihidrit	193	229	214	Schwertmann (1988) 250 - 400 (Borggaard, 1990; Cavallaro & McBride, 1984)

**Tabel 5.** Permukaan spesifik ( $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ ) cuplikan tanah sebelum dan setelah dihilangkan oksida bebas (perlakuan ditionit dan oksalat)

Cuplikan	Perm. spesifik ( $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ )	Setelah Perlakuan	
		Ditionit	Oksalat
KT1/I	26	4	15
KT1/II	40	6	3
KT2/I	53	12	5
KT2/II	35	7	9
PL1/I	42	4	6
PL1/II	50	4	11
PL2/I	26	6	5
PL2/II	34	5	8

*Retensi Fosfat dan Reaktivitas Fluorida*

Semua bentuk oksida dengan permukaan koordinat tunggal kelompok hidroksil (OH) mampu melaksanakan ikatan dengan kation maupun anion (Parfitt, 1978). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa permukaan oksida mempunyai  $3,3\text{OH.nm}^{-2}$  atau  $1\text{OH.nm}^{-2}$  Ion fosfat dan fluorida mampu menggantikan kelompok hidroksida secara kuantitatif yang terikat pada permukaan oksida (Parfitt, 1978). Gutit murni mampu menyerap  $7\text{--}12\text{ umol F.m}^{-2}$  dan  $2\text{--}6\text{ umol P.m}^{-2}$  (Sigg dan Stumm, 1981; Hingston *et al.*, 1972, Nanzyo dan Watanabe, 1982). Selanjutnya menurut Borggaard (1990) besarnya penyerapan fosfat dan fluorida sama dengan 3-7 reaktif OH untuk setiap  $\text{nm}^2$  permukaan gutit, dengan asumsi bahwa setiap fluorida dan fosfat menggantikan 1-2 OH.

Hasil pengukuran retensi fosfat (RP)

dan reaktifitas fluorida (RF) dapat dilihat dalam Tabel 6. Pengukuran retensi fosfat untuk bahan tanah antara tanah Kentrong dan Pelaihari berbeda cukup nyata. Tanah Kentrong mempunyai RF rerata  $22\text{ umol.g}^{-1}$ , sedang tanah Pelaihari  $27,8\text{ umol.g}^{-1}$ . Setelah dilakukan pelarutan oksida, baik menggunakan ditionit maupun oksalat terjadi penurunan RP. Tanah Kentrong kemampuan jerapan tersisa 30-60%, sedang tanah Pelaihari tersisa 15-30%. Perbedaan ini kemungkinan besar disebabkan komposisi oksida yang berbeda, tanah Kentrong mempunyai oksida amorf yang lebih tinggi daripada tanah Pelaihari. Kondisi yang sama terjadi pada reaktifitas fluorida (RF), untuk tanah Kentrong dan Pelaihari mempunyai RF berkisar antara  $20\text{--}50\text{ umol.g}^{-1}$ . Setelah perlakuan ditionit atau oksalat terjadi penurunan sebesar 40-80%. Perbedaan yang cukup nyata setelah perlakuan ditionit atau oksalat, tanah

Tabel 6. Pengukuran retensi fosfat (RP) dan reaktifitas fluorida (FR) cuplikan tanah sebelum dan setelah dihilangkan oksida bebas (perlakuan ditionit dan oksalat)

Cuplikan	PR ( $\text{umol.g}^{-1}$ )	Perlakuan		FR ( $\text{umol.g}^{-1}$ )	Perlakuan	
		Ditionit	Oksalat		Ditionit	Oksalat
		( $\text{umol.g}^{-1}$ )			( $\text{umol.g}^{-1}$ )	
KT1/I	19,2	9,8 (51)	8,3 (43)	32,2	10,4(32)	16,2(50)
II	16,4	10,1 (61)	9,1 (55)	42,4	13,1(31)	9,5(22)
KT2/I	36,7	12,6 (34)	11,1 (30)	45,3	17,7(39)	11,2(25)
II	15,7	7,7 (49)	9,3 (59)	29,5	19,0(64)	7,8(26)
PL1/I	22,4	5,2 (23)	5,1 (23)	34,3	8,7(25)	13,4(39)
II	42,5	6,3 (15)	4,8 (11)	33,2	9,4(28)	8,1(24)
PL2/I	21,8	7,1 (32)	6,5 (30)	38,4	8,7(23)	9,3(24)
II	24,4	4,8 (20)	3,9 (16)	24,4	6,1(25)	12,5(51)



Kentrong mempunyai RF yang lebih besar daripada Pelaihari. Gambar 1 menunjukkan evolusi reaktivitas fluorida (FR) menurut waktu selama 30 menit untuk 8 cuplikan tanah yang berasal dari Kentrong dan Pelaihari. Kecepatan reaksi tidak menunjukkan perbedaan, pada 5-10 menit pertama terjadi pelepasan OH<sup>-</sup> secara cepat, kemudian menurun dan relatif pelepasan OH<sup>-</sup> terjadi dalam jumlah sedikit..

### KESIMPULAN

Hasil penelitian menggunakan teknik pelarutan terpilih menunjukkan bahwa oksida besi yang dikandung tanah terdiri atas fraksi mineral yang mempunyai kristal-buruk (amorf) dan kristalen. Kondisi lingkungan pembentukan yang berbeda menyebabkan terjadinya variasi kristalinitas, komposisi dan ukuran mineral.

Interaksi yang bersifat mutualistik antar komponen penyusun tanah, ternyata mempengaruhi tingkat kristalinitas oksida besi Oksida besi berbentuk amorf (ferihidrit) yang dapat diukur dengan metode EDTA dan oksalat, mempunyai kemampuan menyerap fosfat dan fluorida 2-3 kali lebih besar daripada oksida besi kristalin (gutit dan hematit).

Meskipun dalam penelitian ini terdapat variasi pengukuran oksida besi, tetapi secara keseluruhan terdapat hubungan yang erat antara hasil pelarutan, luas permukaan spesifik, dan karakteristik jerapan fosfat dan fluorida. Setelah oksida besi dihilangkan dari bahan tanah, maka kemampuan retensi fosfat dan reaktivitas fluorida menurun cukup besar.

### PENGHARGAAN

Ucapan terima kasih pada Universitas Gadjah Mada melalui Lembaga Penelitian yang telah menyediakan dana untuk melaksanakan penelitian mandiri dengan dana OPF.

### DAFTAR PUSTAKA

- Allison, L.E. 1965. Organic matter by Walkley-Black method. Dalam: C.A. Black (Ed.). Soil Analysis part II.
- Begheijn, L. T., and J. van Schuylenborgh. 1971. Methods for the analysis of soils. Laboratory of Soil Genesis of the Depart. of Regional Soil Science. Wageningen
- Blakemore, L.C., Searle, P.L. and Daly, B.K. 1987. Soil Bureau Laboratory Methods. A methods for chemical analysis of soils, N.Z. Soil Bureau Sci. Rep., 10A. DSIRO, New Zealand.
- Borggaard, O.K. 1990. Dissolution and adsorption properties of soil iron oxides. Chemistry Depart., Royal Vet. Agric. Univ., Copenhagen, Denmark.
- Borggaard, O.K. 1982. Selective extraction of amorphous iron oxides by EDTA from selected silicates and mixture of amorphous and crystalline iron oxides. Clay Miner. 17:365-368.
- Bracewell, J.M., Campbell, A.C. and Mitchell, B.D. 1970. An assessment of some thermal and chemical techniques used in the study of the poorly-ordered aluminosilicates in soil clays.

- Clay Miner. 8: 325-335.
- Fitzpatrick, R.W. 1988. Iron compounds as indicator of pedogenic processes. *Dalam*: J.W. Stucki, B.A. Goodman, and U. Schwertmann (Eds.). Iron in soils and clay minerals. Hal. 351-396. Reidel, Dordrecht.
- Heilman, M.D., Carter, D.L. and Gonzales, C.L. 1965. Rapid dissolution of allophane and kaolinite-halloysite after dehydration. *Clays and Clay Min.*, 7:102-113.
- Mackenzie, R.C., and Berggren, G. 1970. Oxides and hydroxides of higher-valency element. *Dalam*: R.C. Mackenzie (Ed.). Differential Thermal Analysis. Vol.1. Academic Press. hal.272-302.
- McKeague, J.A. and Day, J.H. 1966. Dithionite- and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci.*, 46:13-22.
- Mehra, O.D., and Jackson, M.L. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Miner.* 7:317-327.
- Parfitt, R.L. 1978. Anion Adsorption by soils and soil materials. *Adv. Agric.* 30:1-50.
- Perrot, K.W., Smith, B.F.L. and Michell, B.D. 1976. Effect of pH on the reaction of sodium fluoride with hydrous oxides of silicon, aluminosilicates, and iron with poorly ordered aluminosilicates. *Jour. Soil Sci.*, 27: 348-356.
- Schwertmann, U. 1973. Use of oxalate for Fe extraction from soils. *Can. J. Soil Sci.* 53:244-246.
- Schwertmann, U., and Taylor, R.M. 1977. Iron oxides. *Dalam*: Dixon and S.B. Weed (Eds.). Mineral in Soil Environment. Soil Sci. Soc.
- Sigg, L., and Stumm, W. 1981. The interaction of anions and weak acids with the hydrous goethite (-FeOOH) surface. *Colloids Surf.* 2:101-107
- Sposito, G. 1984. The surface chemistry of soils. Oxford Press. New York
- Sutanto, R. 1988. Mineralogy, charge properties and classification of soils on volcanic materials and limestone in Central Java (Indonesia). Doctorate thesis. University Ghent (Belgium).
- Uehara, G., and Gillman, G. 1981. The mineralogy, chemistry, and physics of tropical soils with variable charge clays. Westview Tropical Agric. Series. Boulder, Colorado.
- Walker, A.L. 1983. The effects of magnetite on oxalate and dithionite-extractable iron. *Soil Sci. Am. Jour.* 47:1022-1026.
- Yuan, T.L. 1959. Determination of exchangeable hydrogen in soils by a titration methods. *Soil Sci.* 88: 164-167.